

РАДІАЦІЙНІ НАСЛІДКИ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖВ УКРАЇНИ

Азаров С.І.¹, Сидоренко В.Л.², Середа Ю.П.²

¹Інститут ядерних досліджень НАН України,
пр. Науки, 47, 03680, м. Київ,
azarovsi@i.ua;

²Інституту державного управління у сфері цивільного захисту,
вул. Вишгородська, 21, 04074, м. Київ,
generals2007@i.ua

Аналізується радіаційне забруднення територій внаслідок лісових пожеж, забруднених технологічними радіонуклідами. Описано сценарій утворення і поширення шлейфу диму та випадання летучих часток радіоактивних продуктів згорання. Проведено оцінку колективного радіаційного ризику ураження для населення в місцях вторинного забруднення радіонуклідами. **Ключові слова:** Чорнобильська катастрофа, лісові пожежі, радіаційні наслідки, колективний ризик, збитки.

Радиационные последствия лесных пожаров в Украине. Азаров С.И., Сидоренко В.Л., Середа Ю.П. Анализируется радиационное загрязнение территорий в результате лесных пожаров, загрязненных технологическими радионуклидами. Описан сценарий образования и распространения шлейфа дыма и выпадения летучих частиц радиоактивных продуктов сгорания. Проведена оценка коллективного радиационного риска поражения для населения в местах вторичного загрязнения радионуклидами. **Ключевые слова:** Чернобыльская катастрофа, лесные пожары, радиационные последствия, коллективный риск, убытки.

Radiation effects of forest fires in Ukraine. Azarov S., Sydorenko V., Sereda Y. The analysis of radioactive contamination of territories as a result of forest fires, technological contaminated with radionuclides. Carried scenario description formation and propagation plume of smoke and loss of volatile particles of radioactive products of combustion. The evaluation of the collective radiation risk of the population in areas affected by secondary contamination with radionuclides. **Keywords:** Chernobyl disaster, forest fires, radiation effects, collective risk, losses.

Через 28 років після Чорнобильської катастрофи стало ще більше очевидним, що у випадку великих ядерних аварій на обширних територіях страждають агроєкосистеми, формуються зони підвищеного екологічного ризику, докорінно порушуються історично сформована стабільність сільськогосподарського виробництва.

Аварія на Чорнобильській АЕС – це найбільша радіаційна катастрофа,

яка визнана МАГАТЕ як комунальна сільськогосподарська, спричинила забруднення сільськогосподарських угідь і призвела до довготривалого радіоактивного опромінення мешканців 12 областей України. Продукція агроєкосистем і частково лісових ценозів на забруднених територіях, що становить основу харчування людей, вносить суттєвий внесок у формування їх опромінення.

Виклад основного матеріалу

Внаслідок Чорнобильської катастрофи радіоактивне забруднення різної інтенсивності сформувалося у лісах 17 областей держави та АР Крим. На момент обстеження (1991–1992 рр.) на площі 1,23 млн га. Густина забруднення лісів ¹³⁷Cs перевищувала 37 кБк/м².

Базове радіаційне обстеження лісів України проведено ще у 1990–1992 роках, але матеріали, які були отримані в його результаті, є чинними і донині використовуються при плануванні лісгосподарських заходів на підприємствах.

За розрахунковими даними, в 2012 році порівняно з 1990 роком площа лісів з густиною забруднення

понад 37 кБк/м² зменшилась більш ніж на 400 тис. га (табл. 1).

Від радіоактивного забруднення найбільше постраждали ліси полісся України. При цьому, частка лісів з густиною забруднення ґрунту ¹³⁷Cs вище 37 кБк/м² у Житомирській, Рівненській, Київській областях становила відповідно 60,0 %, 56,2 %, 52,2 % загальної площі їх лісового фонду, а у Волинській, Чернігівській, Черкаській, Вінницькій та Сумській областях таких площ налічувалось близько 20 % (табл. 2).

З іншого боку, в Україні щороку фіксується в середньому понад 3500 лісових пожеж, а масова площа, яку охоплюють пожежі за рік, становлять біля 5000 га (табл. 3).

Таблиця 1. Динаміка площі лісів України найбільш забруднених ¹³⁴⁺¹³⁷Cs за зонами забруднення станом на 1992 та 2011 роки, тис. га [1, 2]

Рік	Площа обстеження лісів, тис. га	У тому числі забруднена радіонуклідами, кБк/м ²					Зміна площі < 37,2 кБк/м ²
		<37	37–185	185–555	555–1110	>1110	
1992	2576,2	1476,7	966,0	84,0	36,8	10,6	
2011	2573,4	1898,3	598,9	56,3	12,9	7,0	421,6

Таблиця 2. Забруднення лісових масивів України радіоактивним Cs-137

Назва області	Обстежено лісів, тис. га	Проценти забруднення радіонуклідами, км ²			
		Зони забруднення ¹³⁷ Cs кБк/м ²			
		<37	37–185	185–555	555–1110
Вінницька	234,0	198,6	35,4	–	–
Волинська	353,1	295,7	57,4	–	–
Житомирська	974,3	388,3	450	98	38
Київська	416,4	198,1	187,6	20,1	10,6
Рівненська	728,8	331,5	391,0	6,3	–
Сумська	121,9	109,4	12,5	–	–
Чернігівська	725,5	609,9	102,2	13	0,4
Черкаська	241	190	49	2,0	–
Хмельницька	50	46	3,0	1,0	–

Таблиця 3. Пожежно-технічний стан лісових масивів в Україні (N – кількість лісових пожеж, S – лісова площа, пройдена пожежами) [3–5]

Область	Рік					
	1990		2000		2010	
	N, од.	S, га	N, од.	S, га	N, од.	S, га
Вінницька	15	22	14	20	17	31
Волинська	169	205	161	110	34	35
Житомирська	188	130	183	54	148	101
Київська	299	420	377	82	473	192
Рівненська	218	30	127	41	45	102
Сумська	115	50	43	33	226	123
Чернігівська	172	111	204	112	169	54
Черкаська	142	86	164	49	209	54
Хмельницька	19	18	27	11	35	14

Стохастичний характер процесів виникнення, розвитку і поширення лісових пожеж та варіювання ступеня горіння рослинних асоціацій на лісних масивах з різною густиною радіоактивного забруднення залежно від пожежного навантаження, сезону року та інших пожежотехнічних і метеорологічних факторів ускладнюють оцінку радіаційної обстановки та прогноз післярадіаційних наслідків.

При горінні лісової рослинності, забрудненої радіонуклідами, в навколишнє природне середовище викидаються радіоактивні продукти згорання (РПЗ) у вигляді диму, які, перемішуючись в атмосфері разом з повітряними масами, можуть призвести до радіаційного впливу на здоров'я населення, що мешкає поблизу лісових насаджень, забруднених радіонуклідами.

Для опису сценарію утворення і поширення шлейфу диму та випадання летучих часток радіоактивних продуктів згорання (РПЗ) була розроблена тривимірна модель з використанням балансів рівнянь імпульсу й енергії повітряного потоку та кількості частинок РПЗ в димовому

шлейфі. Була чисельно вирішена система звичайних диференціальних рівнянь для швидкості повітряного потоку по осі струменя, його перегріву відносно до навколишнього повітря, радіусу струменя диму і концентрації РПЗ у димовій структурі [6].

Кожен шар розглядається як окреме незалежне джерело РПЗ, для якого розраховувалась концентрація РПЗ в атмосфері на різних відстанях від місця лісової пожежі.

При комп'ютерному моделюванні розглядалася розігріта димово хмара РПЗ, яка за рахунок Архімедової сили підіймалася в атмосферу зі швидкістю не більше 10 м/с. Частки летучих РПЗ мали складний морфологічний і хімічний склад при густині 3–10 мг/см³, а їх спектр змінювався в широкому діапазоні розмірів 0,1–100 мкм при активносному медіанному аеродинамічному діаметрі від 30 до 50 мкм. Передбачалося, що після стабілізації хмари диму перенесення і розсіювання дрібнодисперсних фракцій здійснювалось в необуреній атмосфері, а дисперсний склад летучих часток в димовій хмарі змінювався тільки за рахунок гравіта-

ційного випадіння.

Для порівняння утворення і переміщення димової хмари РПЗ використовувалось рівняння динаміки аерозолію зі змінною масою.

У процесі математичного моделювання аналізувалися такі процеси [7]:

– перенос летучих часток РПЗ був направлений атмосферною течією;

– розвиток струменя при викиді нагрітих газів в атмосфері характеризувався зміною швидкості вітру, температури і тиску, а також постійним перемішуванням нагрітих газів з навколишнім повітрям;

– розсіювання дрібнодисперсних часток РПЗ відбулося за рахунок атмосферної турбулентної дифузії й їх седиментації в полі тяжіння, а також взаємодії з підстильною поверхнею.

Остаточна картина радіоактивного забруднення місцевості формувалася за час, який залежав від відстані до точки лісової пожежі і метеорологічних параметрів.

При розрахунку виносу із зони лісової пожежі використовувалась Гауссовська модель. Оскільки лісові масиви України розташовані в євро-

пейській частині, то найбільш імовірно приймалася нейтральна стратифікація атмосфери (категорія D по класифікації Пасквілла) [8].

Аналіз сценаріїв минулих лісних пожеж показав, що умови надходження радіонуклідів в атмосферу залежно від типу лісової пожежі (верховий, низовий, перехідний та ін.) можуть істотно різнитися за висотою викиду димової хмари в 3 рази, тривалості – в 2 рази, за радіонуклідним складом викиду на 10–30 %, а розрахунковий розкид в дозі опромінення не буде перевищувати 30 %. У результаті чисельних розрахунків було визначено, що одержані оцінки радіаційного ризику для населення є консервативними, оскільки враховувалося тільки зовнішнє опромінення від радіонуклідів, що потрапили на ґрунтово-рослинний покрив, і внутрішнє опромінення від інкорпорованих в організмі людини радіонуклідів при вдиханні і за рахунок міграції по харчових ланцюжках.

Колективний радіаційний ризик в зоні дії радіоактивного диму від місця лісової пожежі розраховували за формулою [9]:

$$R_C(L, \tau) = \int_0^{2\pi} \int_0^L \int_0^{Q(\tau)} \rho(L, V) R(L, \tau) H[F(L), Q(\tau)] f(Q) L dL dQ(\tau) d\tau, \quad (1)$$

де $\rho(L, V)$ – густина населення, що проживає у зоні впливу РПЗ;

$R(L, \tau)$ – індивідуальний радіаційний ризик;

$H[F(L)Q(\tau)]$ – умовна густина ймовірності лісової пожежі, яка приводить до дози опромінення $F(L)$ при активності викиду $Q(\tau)$;

$f[Q(\tau)]$ – ймовірність лісових пожеж, яка приводить до викиду РПЗ в інтервалі $Q(\tau)=Q(\tau)+dQ(\tau)$;

L – відстань від лісової пожежі.

Індивідуальний радіаційний ризик на відстані L від місця лісової пожежі розраховували за формулою:

$$R(L, \tau) = K(L) \int_{Q(\tau)} H[F(L), Q(\tau)] f(Q) dQ d\tau, \quad (2)$$

де $K(L)$ – фактор, що враховує рівномірність напрямку вітру при лісовій пожежі.

Розподіл імовірностей вихідних подій кількості лісових пожеж визначали за формулою:

$$f(Q) = \int_0^{\tau} \int_{Q(\tau)} f[Q(\tau)] dQ d\tau. \quad (3)$$

Значення $f[Q(\tau)]$ можна представити у вигляді:

$$f[Q(\tau)] = \mu \left\{ 1 + \ln[Q(\tau)/\bar{Q}_0] [Q(\tau)\Delta\tau]^{-1} \right\}, \quad (4)$$

$$\mu = \left[(2\tau/\lambda)^{0.5} - 1 \right] \left[\ln Q(\tau)/\bar{Q}_0 \right]^{-1}, \quad (5)$$

де $\bar{Q}_0$ – вміст радіонуклідів у горючих лісових матеріалах;

$Q(\tau)$ – сумарна активність радіонуклідів, що викинуто в атмосферу;

$\Delta\tau$ – очікуваний період часу між двома лісовими пожежами;

λ – частота лісових пожеж.

В табл. 4 представлені результати розрахунку за формулами (1–5) колективного радіаційного ризику від лісових пожеж в областях України в різні роки.

Таблиця 4. Колективний радіаційний ризик ураження для населення в місцях, що піддалися забрудненню чорнобильськими радіонуклідами

Область	Колективний радіаційний ризик, чол. · рік ⁻¹		
	Роки		
	1990	2000	2010
Вінницька	0,12	0,08	0,01
Волинська	1,32	0,19	0,12
Житомирська	5,76	0,45	0,34
Київська	4,32	0,66	0,29
Рівненська	2,68	0,23	0,17
Сумська	0,11	0,09	0,01
Чернігівська	3,25	0,34	0,21
Черкаська	1,34	0,07	0,09
Хмельницька	0,10	0,04	0,01

Як видно з даних у табл. 4 максимальний колективний радіаційний ризик за кожні роки становить 0,34 чол. · рік⁻¹, що не перевищує межі прийнятого ризику.

У табл. 5 наведені результати роз-

Таблиця 5. Збиток від радіації для населення України від пожеж у лісах, забруднених чорнобильськими радіонуклідами за період 1990–2010 роки

Область	Територія, тис. км	Населення області, тис. чол.	Індекс радіаційної небезпеки для населення	Шкода здоров'ю населення в зоні впливу лісової пожежі у \$ US
Вінницька	20,2	1071,8	1,7	1,4 · 10 ³
Волинська	26,5	1862,2	3,9	0,7 · 10 ⁴
Житомирська	29,9	1467,9	5,6	8,3 · 10 ⁴
Київська	28,1	1880,4	8,9	4,8 · 10 ⁵
Рівненська	20,1	1192,5	4,0	0,9 · 10 ⁴
Сумська	23,8	1384,3	0,7	0,8 · 10 ³
Чернігівська	31,9	1333,4	5,1	4,5 · 10 ⁴
Черкаська	20,9	1491,1	4,5	3,0 · 10 ⁴
Хмельницька	20,6	1498,4	1,2	1,1 · 10 ³

З табл. 5 виявляється, що потенційна небезпека шкідливих впливів радіації на населення різних регіонів України незначна. Однак короткочасне підвищення вмісту радіонуклідів у приземному шарі повітря можуть призвести до тяжких радіаційних наслідків [10].

Висновки

Держсанепідслужба та Державна

служба України з надзвичайних ситуацій, при розробці плану заходів з радіаційного захисту населення на випадок пожеж у лісах, забруднених радіонуклідами, повинні гарантувати повне виключення опромінення населення дозою понад консервативного порога ефективної дози опромінення, що призводить до тяжких наслідків від детермінованих ефектів.

Література

1. Національна доповідь про стан навколишнього середовища в Україні. – К.: Вид. Раєвського, 1994. – 178 с.
2. Інформаційно-аналітичні методики з питань подолання наслідків Чорнобильської катастрофи. Парламентські слухання / Постанова ВР України від 19 березня 2013 р. № 31-VII, п. 2. – К., 2013. – 65 арк.
3. Охорона навколишнього середовища в Україні. – К.: Вид. Раєвського, 1997. – 95 с.
4. Статистичний збірник "Довкілля України" за 1999 рік. – Київ, 2000. – 286 с.
5. Статистичний збірник "Довкілля України" за 2012 рік. – Київ, 2013. – 233 с.
6. Азаров С.І. Оценка пожарной опасности территорий, загрязнённых радионуклидами / С.І. Азаров, А.А. Однолько // Лесное хозяйство. – 1996. – № 3. – С. 15–16.
7. Азаров С.І. Загрязнение атмосферы Cs-137 при лесных пожарах в Чернобыльской зоне / С.І. Азаров // Радиационная биология. Радиозология. – 1996. – Т. 36. – Вып. 4. – С. 506–515.
8. Азаров С.І. Методика расчёта переноса радионуклидов в результате пожаров в Чернобыльской зоне / С.І. Азаров // Радиационная биология. Радиозология. – 1998. – Т. 38. – Вып. 7. – С. 102–109.
9. Азаров С.І. Оцінка радіаційних наслідків міських пожеж в Україні / С.І. Азаров // Український географічний журнал. – 2001. – № 2. – С. 52–54.
10. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). – К., 1997. – 121 с.